



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU



Fakultet
elektrotehnike i
računarstva

Diplomski studij

Računarstvo

Znanost o mrežama

Programsko inženjerstvo i informacijski
sustavi

Računalno inženjerstvo

Informacijska i komunikacijska tehnologija

Automatika i robotika

Informacijsko i komunikacijsko inženjerstvo

Elektrotehnika i informacijska tehnologija

Audiotehnologije i elektroakustika

Elektroenergetika

(Izborni predmet profila)

Internet stvari

10. Interoperabilnost programskih platformi: programska međuoprema symbloTe i IoT platforma

Ak. god. 2022./2023.

Interoperabilnost za IoT

- Što je interoperabilnost?
 - interoperabilnost je obilježje proizvoda/sustava/programske komponente, čija su sučelja poznata i dobro dokumentirana (tj. otvorena) radi integracije s ostalim sustavima
- Raširena primjena IoT rješenja moguća je samo „otvaranjem” infrastrukture i platformi (naravno, pod kontroliranim uvjetima), uz korištenje unificiranih i usuglašenih API-ja
- Potreba za aplikacijama neovisnim o infrastrukturi i platformama ali i domeni (cross-domain IoT apps)



Izvor: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/five-steps-to-address-iot-integration-challenges/>

Dodatno o važnosti interoperabilnosti

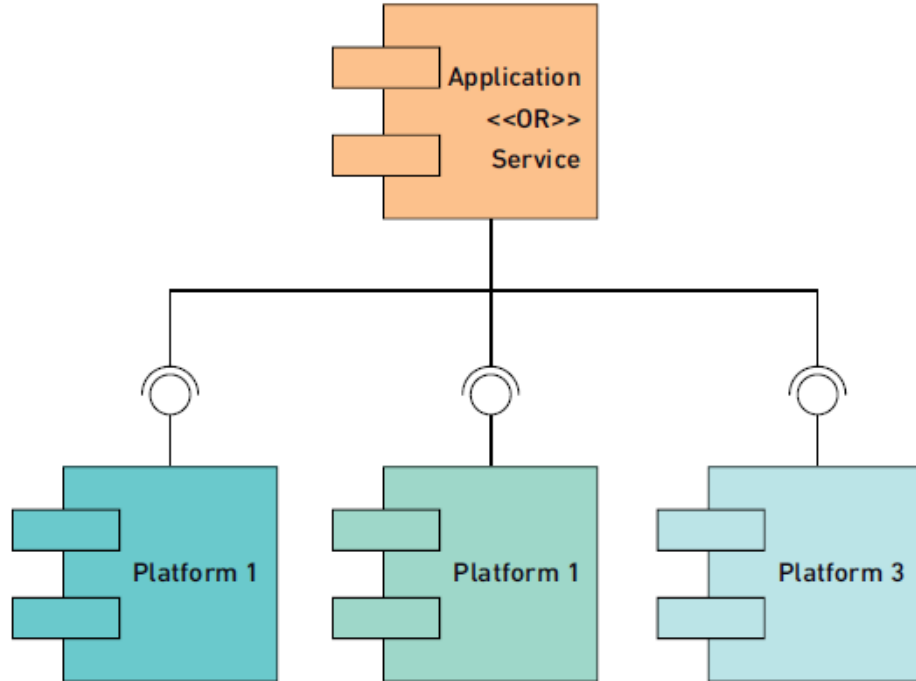
- „To ensure that hybrid- and multi-cloud solutions work together seamlessly, enterprises are prioritizing integration, interoperability, and security. As a result, it has become a must to have a robust API strategy, security, and integration middleware that allow applications in different cloud environments to interact. APIs' importance is evident in how much their numbers have grown. From 2014 through 2017, the total number of APIs available in ten strategic business functions more than doubled. Interoperability's importance is also clear: the market for integration platforms is expected to grow by 50% to reach \$2.8 billion in 2020.”
- Izvor: <https://www.bcg.com/publications/2019/seven-forces-reshaping-enterprise-software.aspx>

Vrste interoperabilnosti

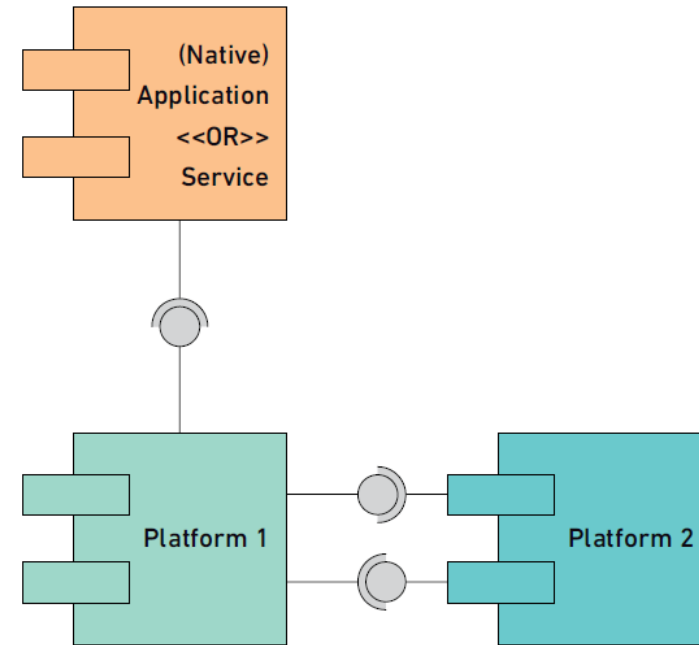
- **Tehnička:** povezuje se s komunikacijskim protokolima i potrebnom infrastrukturom kako bi protokoli ispravno funkcionirali.
- **Sintaktička:** povezuje se s formatom podataka i njihovim kodiranjem, npr., XML, JSON, RDF.
- **Semantička:** odnosi se na razumijevanje prenesenih podataka između različitih sustava (informacije, a ne podaci!).
- **Organizacijska:** sposobnost organizacija za učinkovitu komunikaciju i prijenos informacija kroz različite informacijske sustave i infrastrukture

Izvor: H. van der Veer und A. Wiles, „Achieving Technical Interoperability – the ETSI Approach,“ ETSI White Paper No.3, 3rd edition, April 2008.

„Obrasci” interoperabilnosti



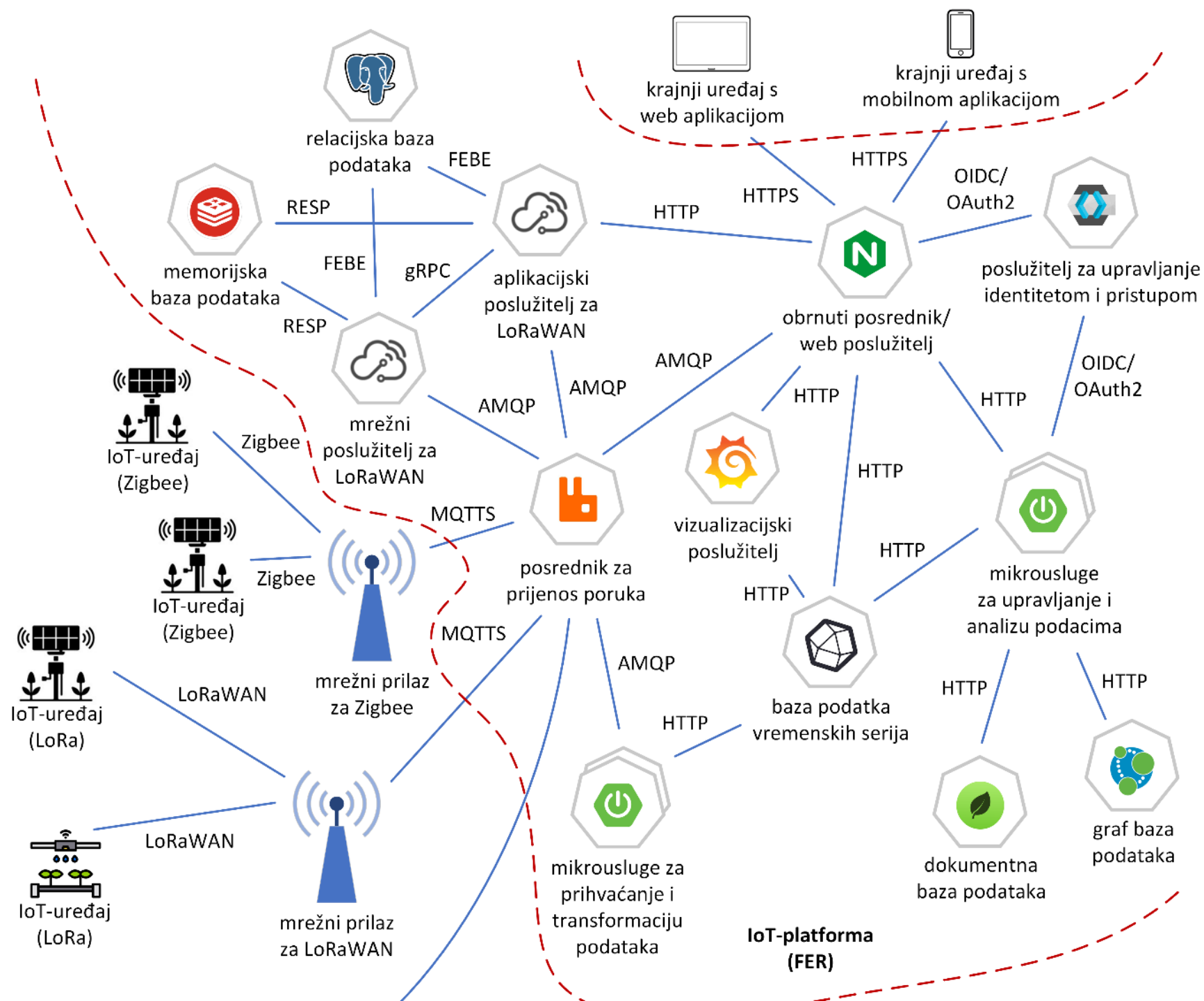
1. Cross Platform Access Pattern



2. Platform-to-platform Interoperability Pattern

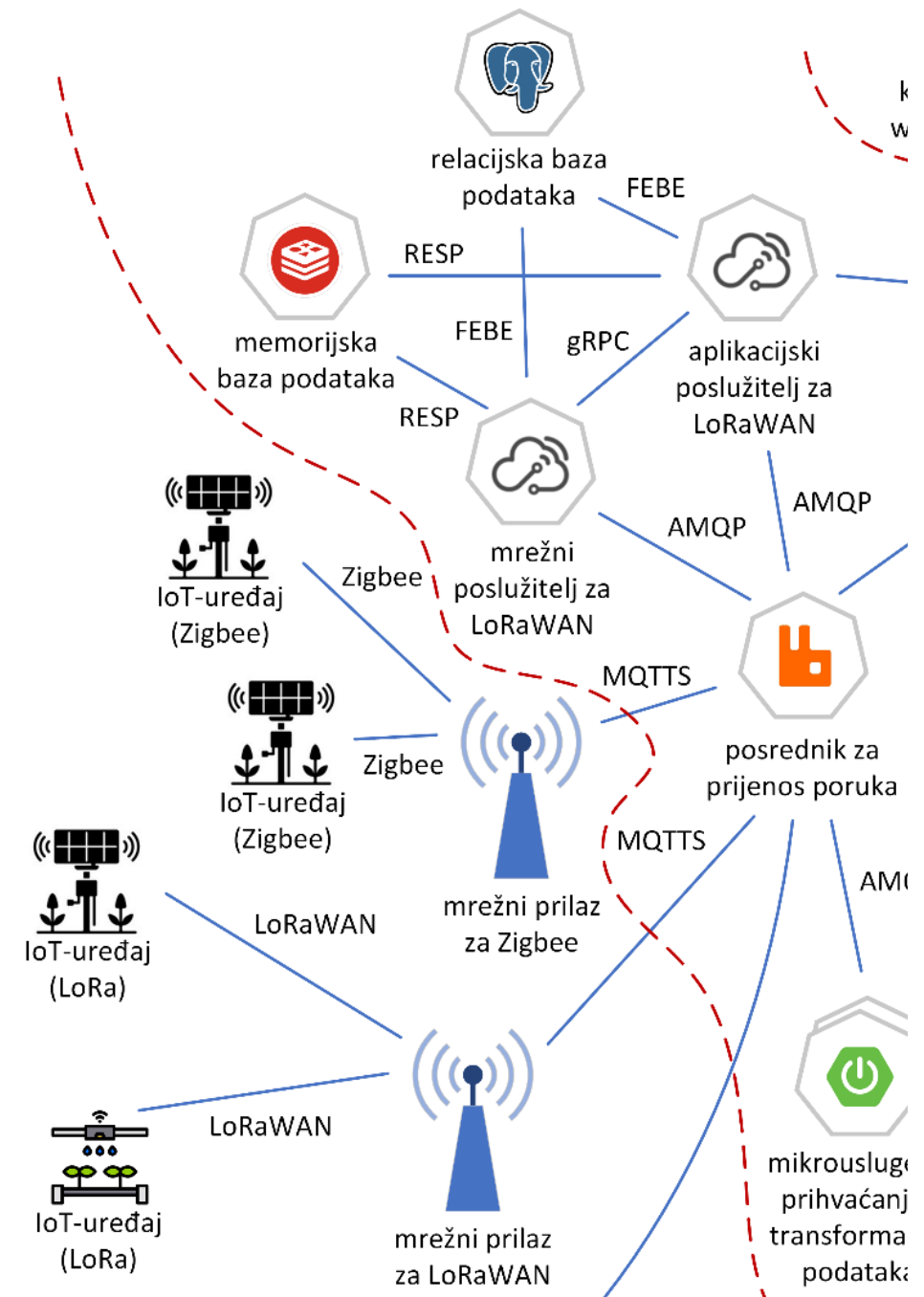
Vermesan, Ovidiu (ed.). Advancing IoT Platforms Interoperability, River Publishers, June 2018,
<https://doi.org/10.13052/rp-9788770220057>

IoT platforma u projektu IoT-polje



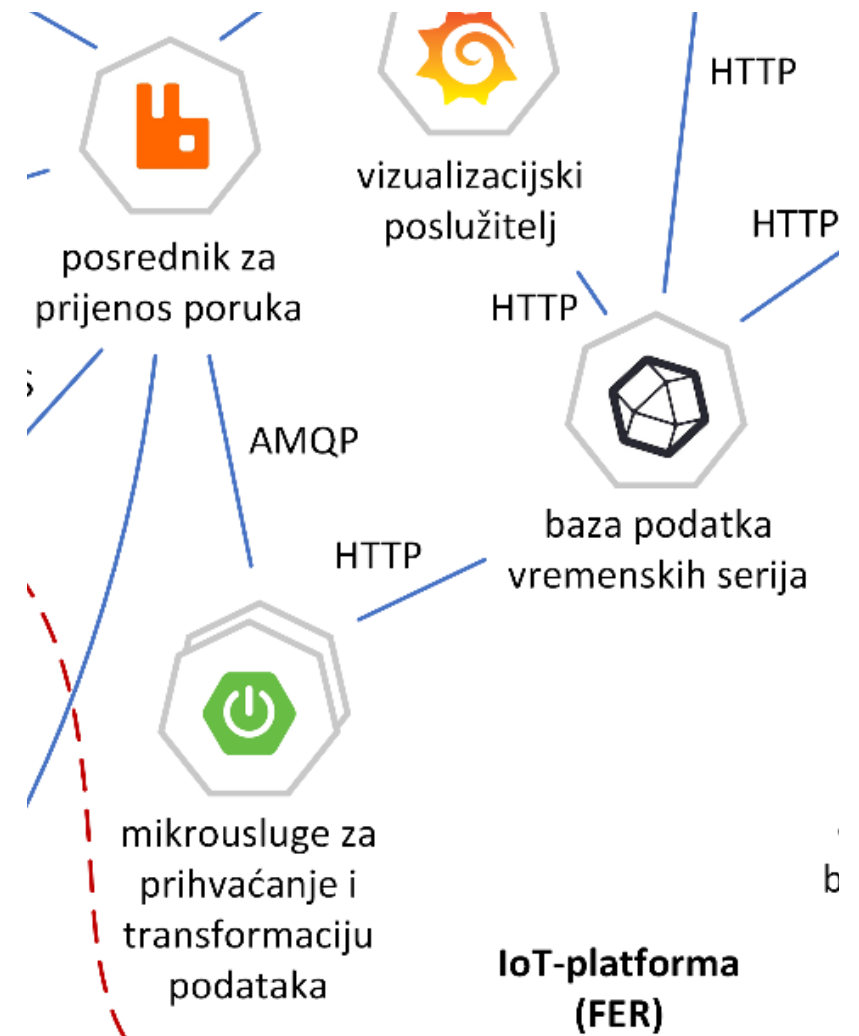
Tehnička interoperabilnost

- Uređaji:
 - Waspote Plug & Sense - [Smart Agriculture](#)
 - ATMOS - [DL-ATM41](#),
 - METEOHELIX,
 - DAVIS - [UBIQ-IoT WS-100 Series](#)
 - naši uređaji – STM32, LoRaWAN
- Komunikacija:
 - Niži slojevi: LoRaWAN, Zigbee
 - Aplikacijski: TLS za sigurnost, MQTT ili AMQP
 - RabbitMQ

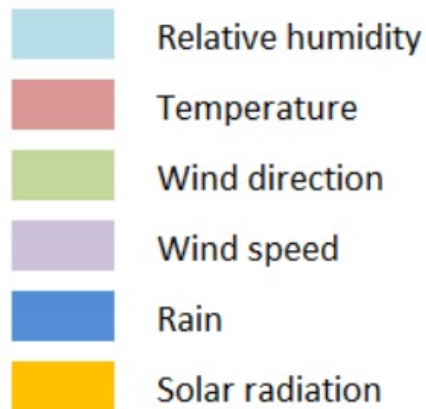


Sintaktička interoperabilnost

- Svaki uređaj šalje podatke u svom formatu
 - *Ingestion* mikro servisi koji parsiraju formate i spremaju u bazu podataka s vremenskim serijama (InfluxDB)



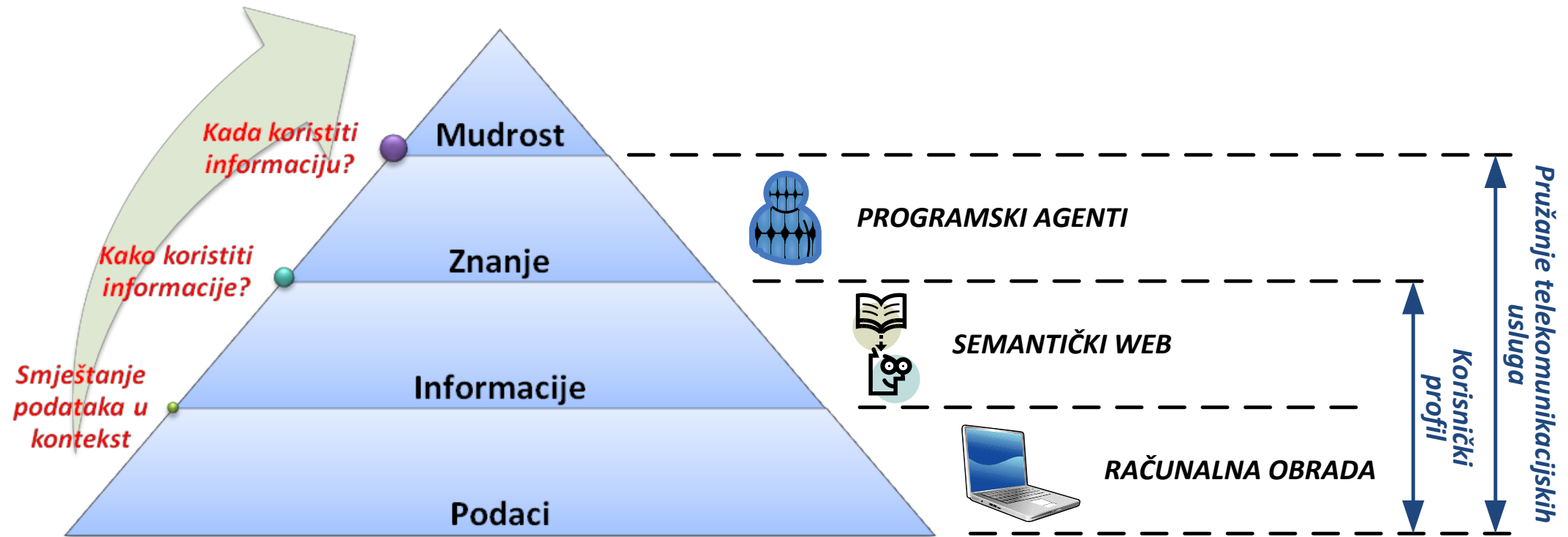
Sintaktička interoperabilnost – UBIQ IoT



- Solarna radijacija: 11 bitova
- Kiša: 14 bitova
- Brzina vjetra: 9 bitova
- Smjer vjetra: 9 bitova
- Temperatura: 14 bitova
- Relativna vlažnost zraka: 7 bitova
- Oktet 0 – *hand-shake*

Tehnologije semantičkog weba

Semantički web



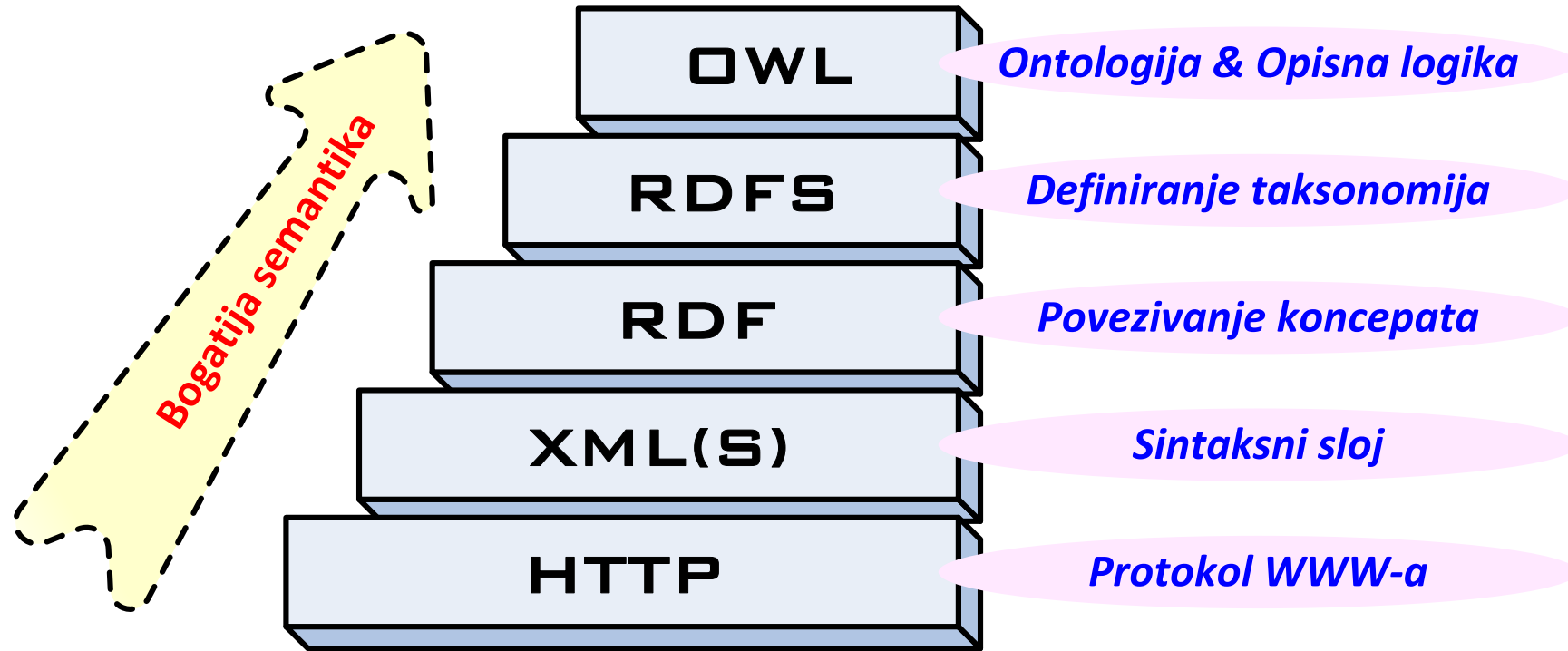
Tehnologije semantičkog weba

- Ontologije
 - Formalni opis domene
- Metapodaci
 - Podaci o podacima
 - Opis objekata pomoću ontologije
- Semantičko rasuđivanje
 - Algoritmi i logika
- Agenti
 - Predstavljaju korisnika u sustavu i zaključuju

Ontologija

- Eksplicitna i formalna specifikacija
 - Formalno se opisuje domena
 - Sadrži koncepte (pojmove)
 - Definira odnose (predikate) među konceptima
- Sastoji se od trojki
 - Subjekt
 - Predikat / svojstvo / odnos
 - Objekt

Elementi izgradnje semantičkog weba

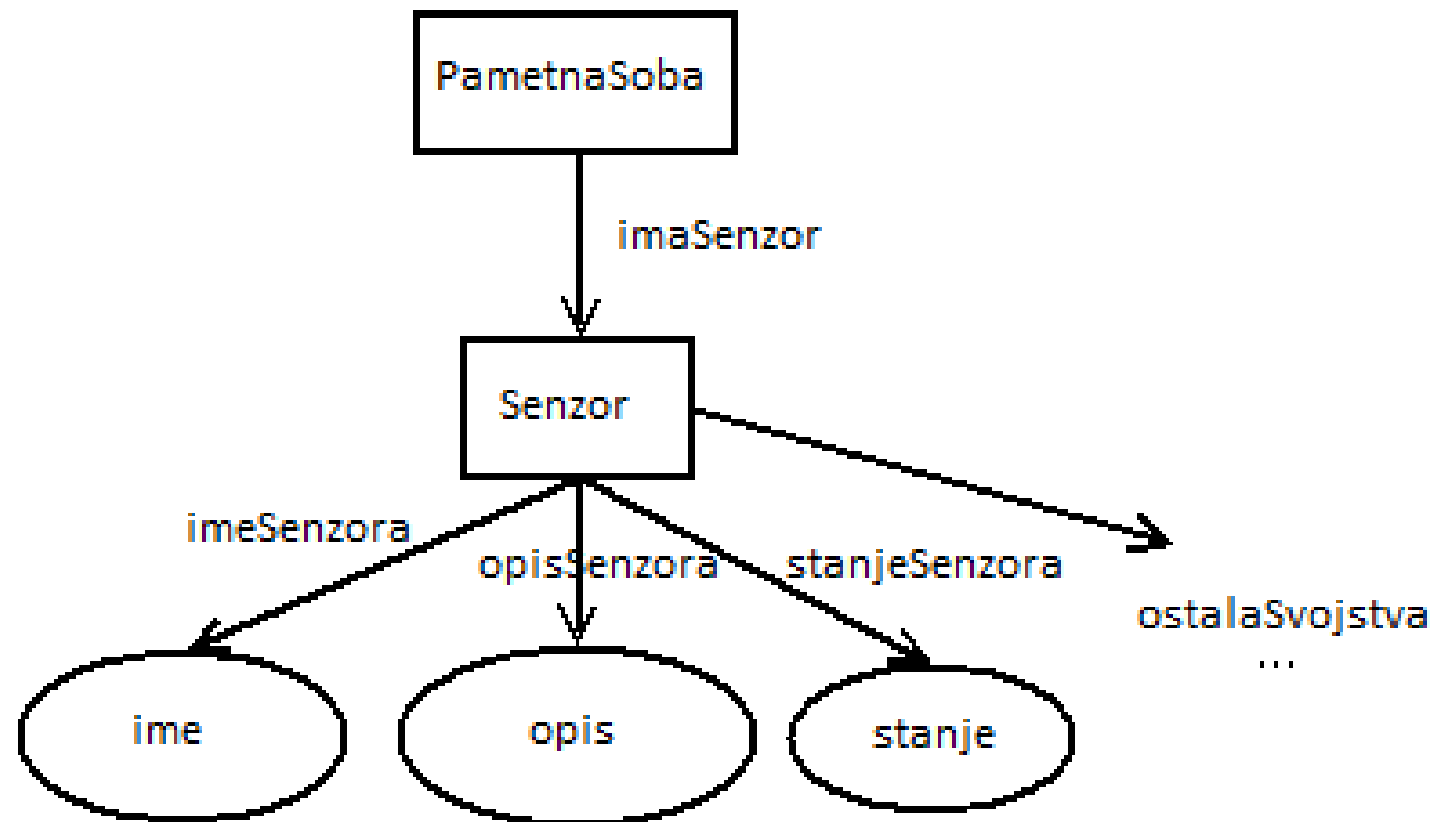


RDF – Resource Description Framework

- Skup W3C-specifikacija koje se danas koriste za općenito modeliranje informacija
- Zapisivanje informacija u obliku izjava (trojke): subjekt, predikat i objekt
- Primjer:

```
<rdf:RDF xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
xmlns:ns="http://www.fer.hr/#">
  <ns:Room rdf:about="http://www.fer.hr/#room1">
    <ns:hasSensor rdf:resource="http://www.fer.hr/#temp1"/>
  </ns:Room>
  <ns:Sensor rdf:about="http://www.fer.hr/#temp1">
    <ns:value>25</ns:value>
  </ns:Sensor>
</rdf:RDF>
```


RDF



RDFS – RDF Schema

- Prikazuje klase i svojstva elemenata
- Kao kod objektno-orijentiranog programiranja

```
<rdf:RDF xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#">
```

```
<rdfs:Class rdf:ID="sensor" />
```

```
<rdfs:Class rdf:ID="temperatureSensor">
```

```
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#sensor"/>
```

```
</rdfs:Class>
```

```
<rdf:Property rdf:ID="value">
```

```
  <rdfs:domain rdf:resource="#sensor"/>
```

```
  <rdfs:range
```

```
    rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
```

```
</rdf:Property>
```

```
</rdf:RDF>
```

OWL – Web Ontology Language

- Jezik za definiranje ontologija
- Slično kao i RDFS
- Znatno bogatiji vokabular za opisivanje klasa, njihovih međusobnih odnosa, atributa i njihovih svojstava:
 - restrikcije domene koje se primjenjuju samo na odabrane klase
 - klase se mogu definirati kao međusobno isključive
 - ograničenja kardinalnosti – primjerice, može se reći kako instanca klase ima točno jedno svojstvo
 - posebna svojstva predikata – predikati se mogu definirati kao tranzitivni, inverzni i jedinstveni
- 3 varijante: OWL Lite, OWL DL i OWL Full
- Zasniva se na opisnoj logici (*Description logic*)

OWL – najvažniji konstrukti

Konstrukt	Sintaksa opisne logike
intersectionOf	$C_1 \sqcap \dots \sqcap C_n$
unionOf	$C_1 \sqcup \dots \sqcup C_n$
complementOf	$\neg C$
oneOf	$\{a_1, \dots, a_n\}$
toClass	$\forall R.C$
hasClass	$\exists R.C$
hasValue	$\exists R.\{a\}$
minCardinality	$\geq_n R.C$
maxCardinality	$\leq_n R.C$
cardinality	$=_n R.C$

Jezik SPARQL

- jezik za pretraživanje podataka koji su pohranjeni u RDF-u
- dozvoljava postavljanje nepotpunih upita
 - ne mora postojati svojstvo
- nedostci:
 - ne posjeduje UPDATE funkciju
 - ne posjeduje kurzore
 - nisu mogući upiti sa računanjem
 - ne postoje agregacijske funkcije
 - ne postoje funkcije za manipulaciju podacima

Jezik SPARQL – upiti

- SELECT
 - za dohvaćanje vrijednosti koje se prikazuju u tabličnom formatu
- CONSTRUCT
 - koristi se za dohvaćanje podataka koji se oblikuju u valjan RDF-u
- ASK
 - koristi se za dohvaćanje *true* ili *false* odgovora
- DESCRIBE
 - koristi se za dohvaćanje podataka u obliku RDF-grafova

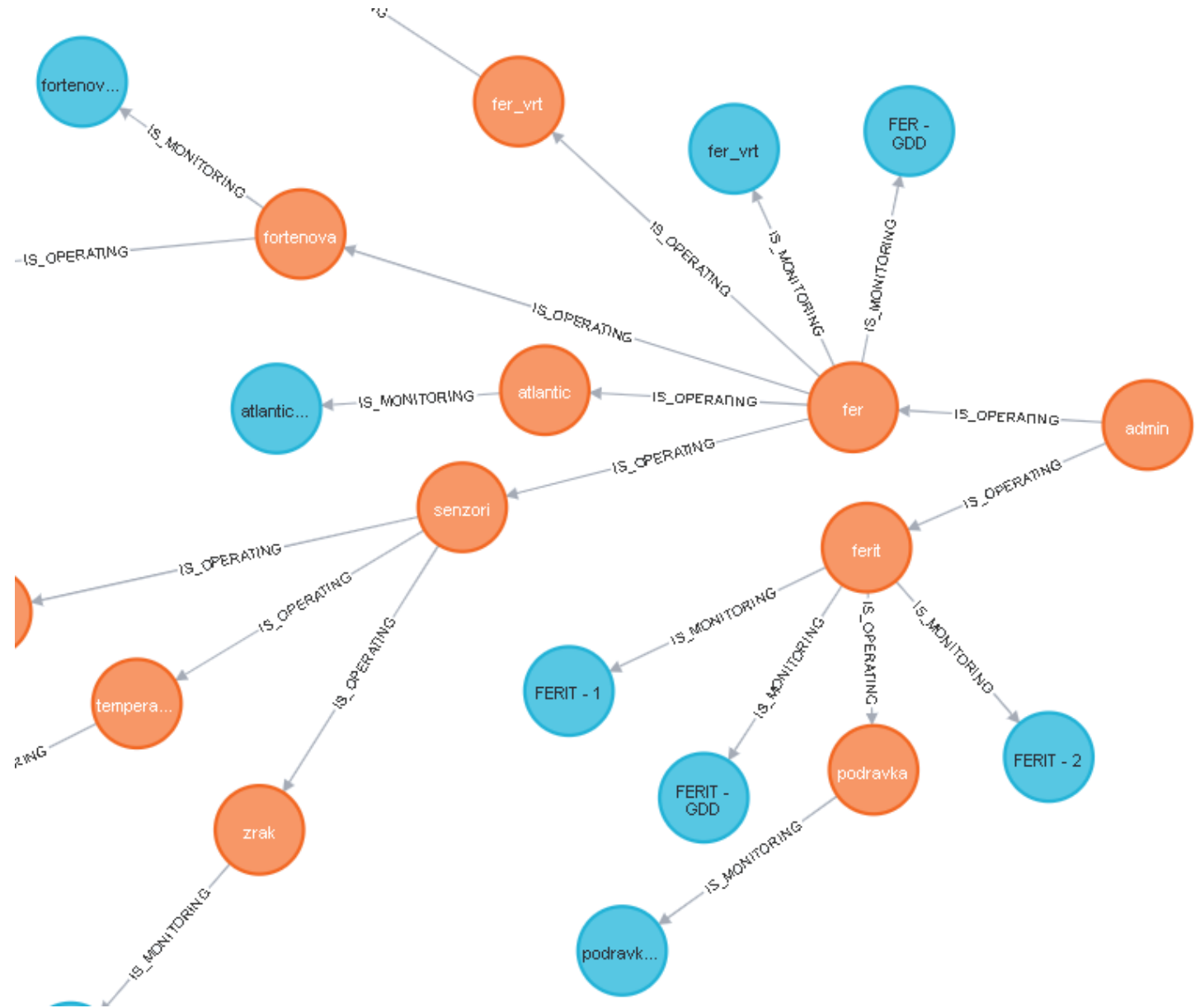
```
PREFIX foaf: <http://xmlns.com/foaf/0.1/>
SELECT ?name ?email
WHERE {
    ?person a foaf:Person.
    ?person foaf:name ?name.
    ?person foaf:mbox ?email.
}
```

Implementacije repozitorija koji razumiju SPARQL

- Apache Jena – koristili smo ju u projektu symbloTe
- Eclipse RDF4J
- Blazegraph
- Virtuoso – koristili smo ju u projektu OpenIoT
- Neke baze podatka koje se temelje na grafovima imaju dodatke za SPARQL:
 - GraphDB – dodatak Ontotext
 - Neo4J – dodatak neosemantics (n10s) – koristimo ju u našoj IoT platformi

Primjer kotištenja Neo4J za oznake (*tag*) u našoj IoT-platформи

- Crveno su oznake
- Plavo su scene



Primjer jednostavne interoperabilne aplikacije

- **Universalni prekidač** na pametnom telefonu
- ... palimo i gasimo svjetla u našoj okolini ili udaljeno (doma, u uredu, u javnim prostorima)
- ... naravno, samo ako imamo odgovarajuću dozvolu ;-)



Projekt symbloTe (2016.-2018.)



symbiote [sim-bee-oh]

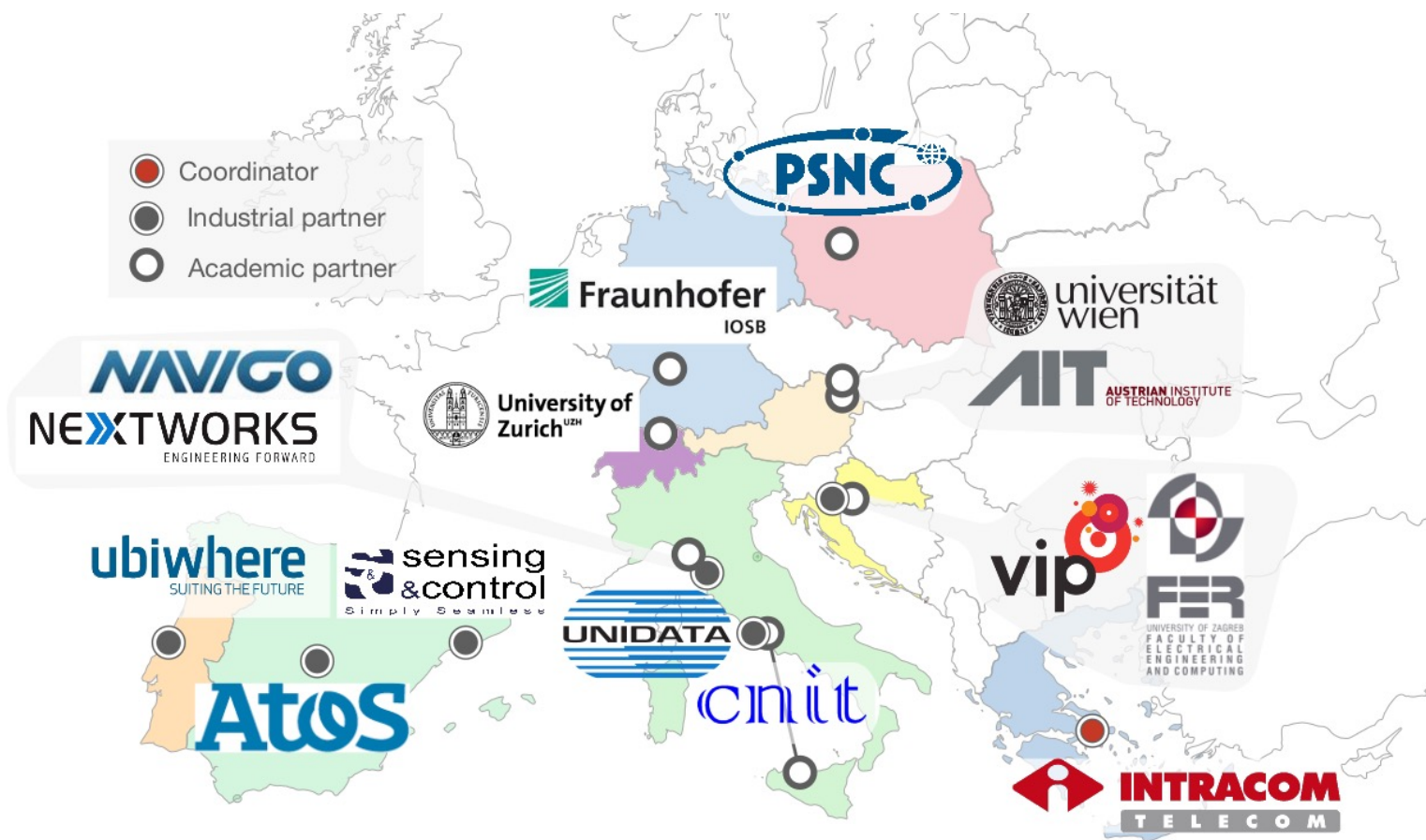
noun, *biology*

an organism living in a state of symbiosis

**symbloTe: Symbiosis of smart objects
across IoT environments**

istraživački projekt (RIA) financiran u
programu Obzor2020
(2016. – 2018.)

Konzorcij symbloTe

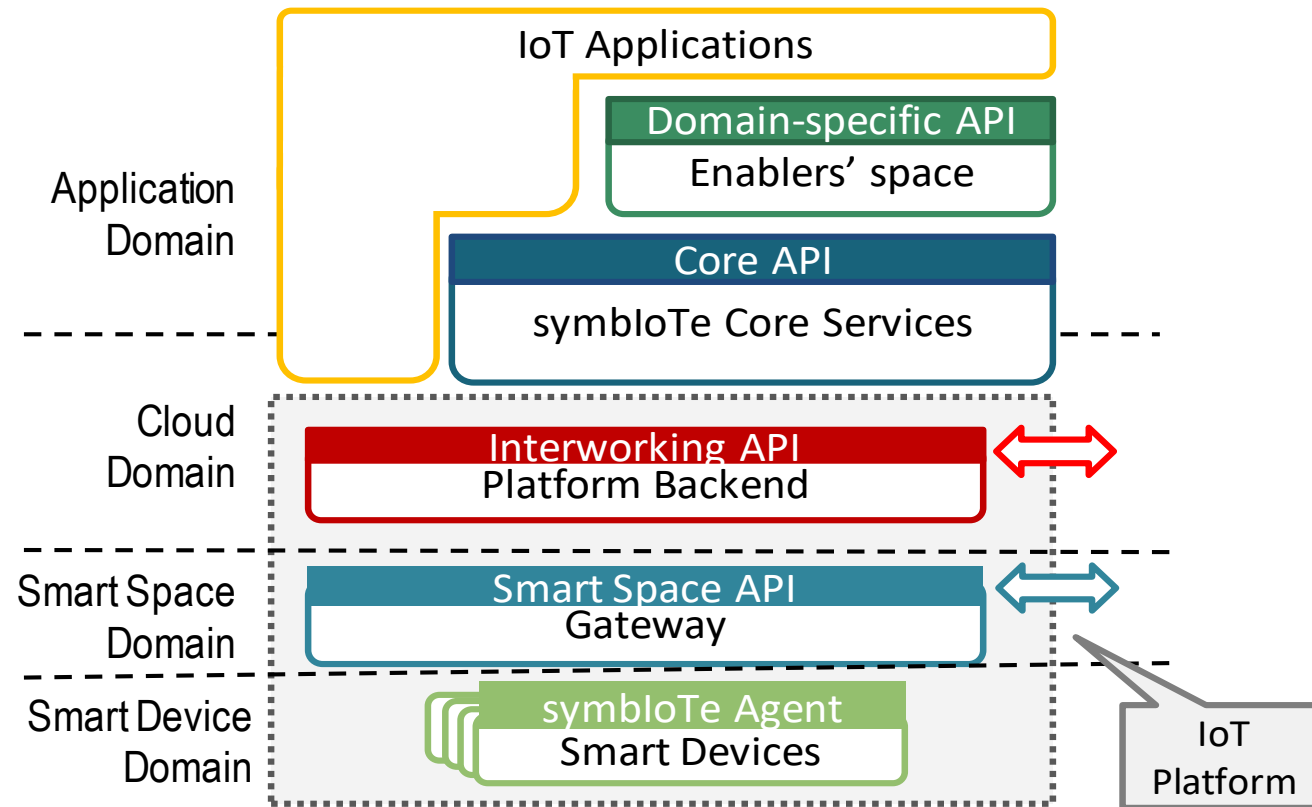


- 15 partners
- SMEs w/ IoT solutions
- research institutes
- universities
- large companies

use cases:

- smart residence
- smart campus
- smart mobility
- smart yachting
- smart stadium

The symbloTe stack



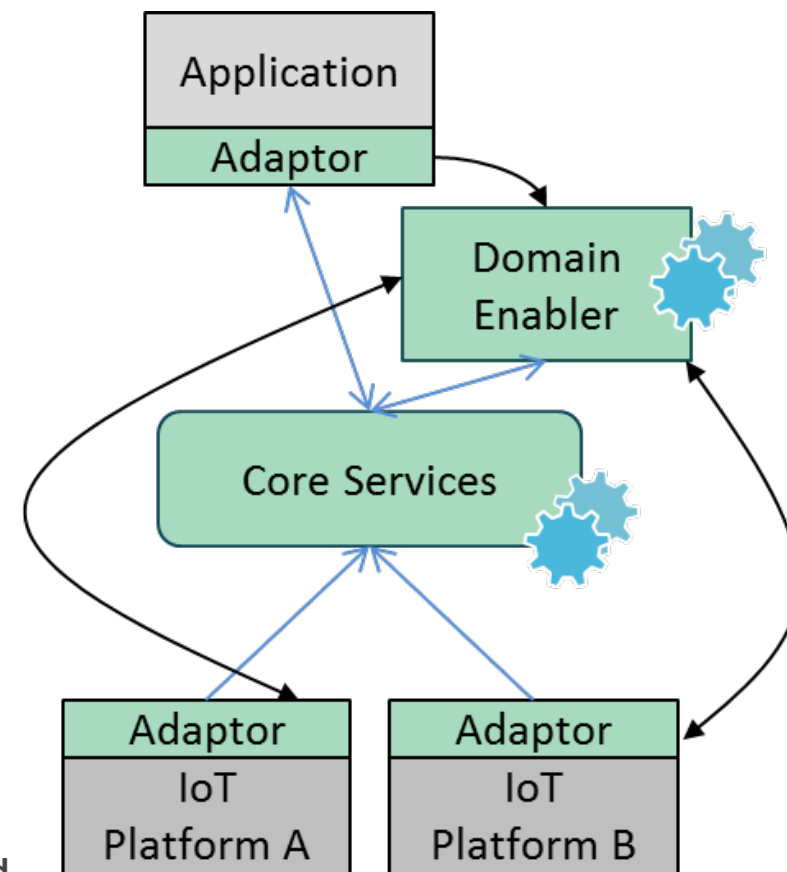
- Razvijene komponente za proširenje funkcionalnosti vezanih uz interoperabilnost i sigurnost koje integriramo u postojeće IoT-platforme: *symbloTe interoperability middleware*
- Potreba za različitim izvedbama i konfiguracijama

I. Podnar Zarko *et al.*, **Towards an IoT framework for semantic and organizational interoperability**, 2017 *Global Internet of Things Summit (GloTS)*, Geneva, Switzerland, 2017, doi: 10.1109/GIOTS.2017.8016253

IoT portal & Domain Enablers

- **Semantička interoperabilnost + 1. obrazac**
- IoT platforme nude resurse (senzore, aktuatori, servise) koristeći unificirano sučelje
- pojednostavljeni razvoj aplikacija i servisa za krajnjeg korisnika koristeći različite platforme
- IoT portal with Core services: registar i semantička tražilica IoT-resursa
- Domain Enabler: za razvoj servisa s dodanom vrijednosti, pojednostavljuje interakciju s različitim platformama

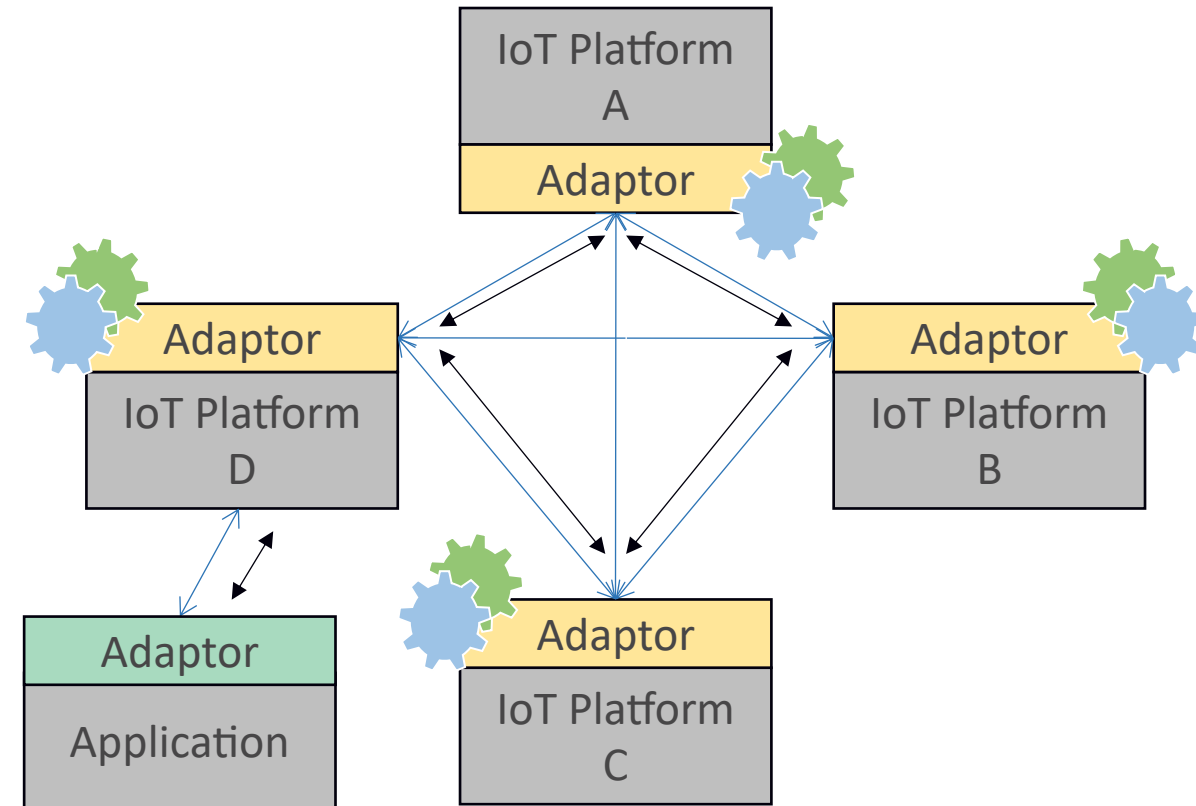
I. Podnar Zarko *et al.*, **The symbloTe Solution for Semantic and Syntactic Interoperability of Cloud-based IoT Platforms**, 2019 Global Internet of Things Summit (GloTS), Aarhus, Denmark, 2019, to appear



IoT federations

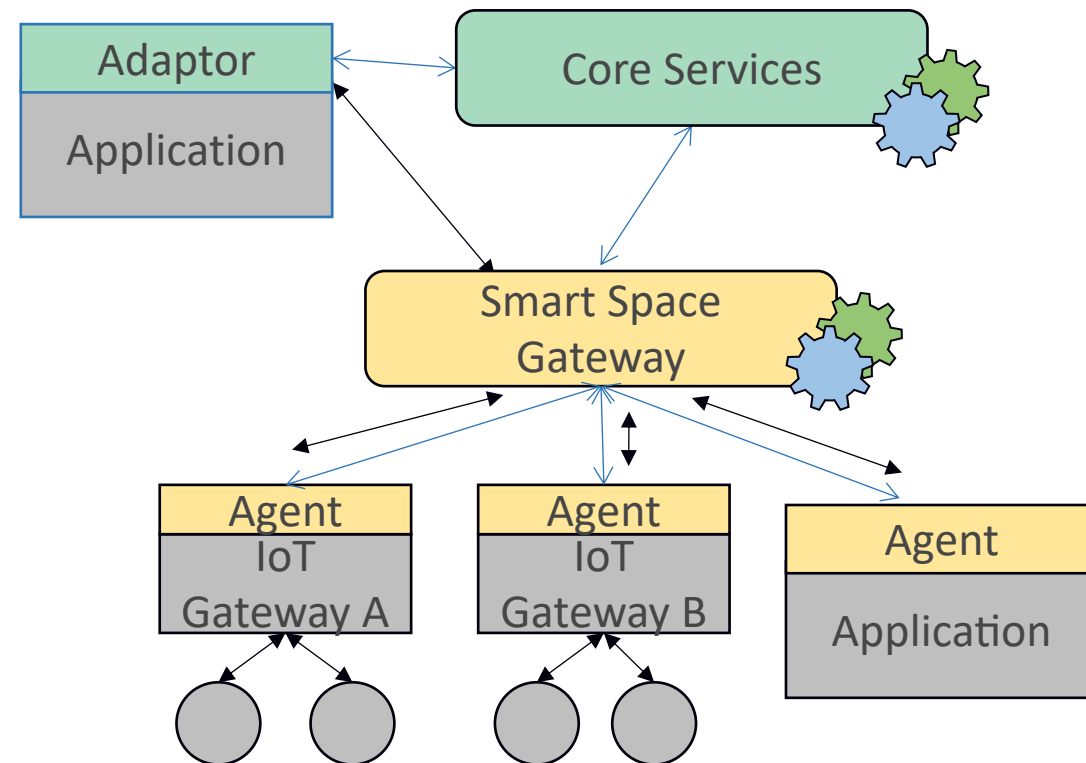
- **Organizacijska interoperabilnost + 2. obrazac**
- Zajednice dviju ili više platformi koje dijele ili trguju pristupom svojim IoT resursima
- Aplikacija pristupa resursima svih platformi u federaciji kao da njima upravlja samo jedna platforma
- Potpuno decentralizirani ekosustav, tražilica je također decentralizirana
- Pogodno sa poslovne procese gdje se želi izbjeći centralizacija i kontrola ekosustava od strane onoga tko upravlja centraliziranom tražilicom

I. Podnar Žarko *et al.*, "Collaboration Mechanisms for IoT Platform Federations Fostering Organizational Interoperability," 2018 Global Internet of Things Summit (GloTS), Bilbao, 2018, pp. 1-6.



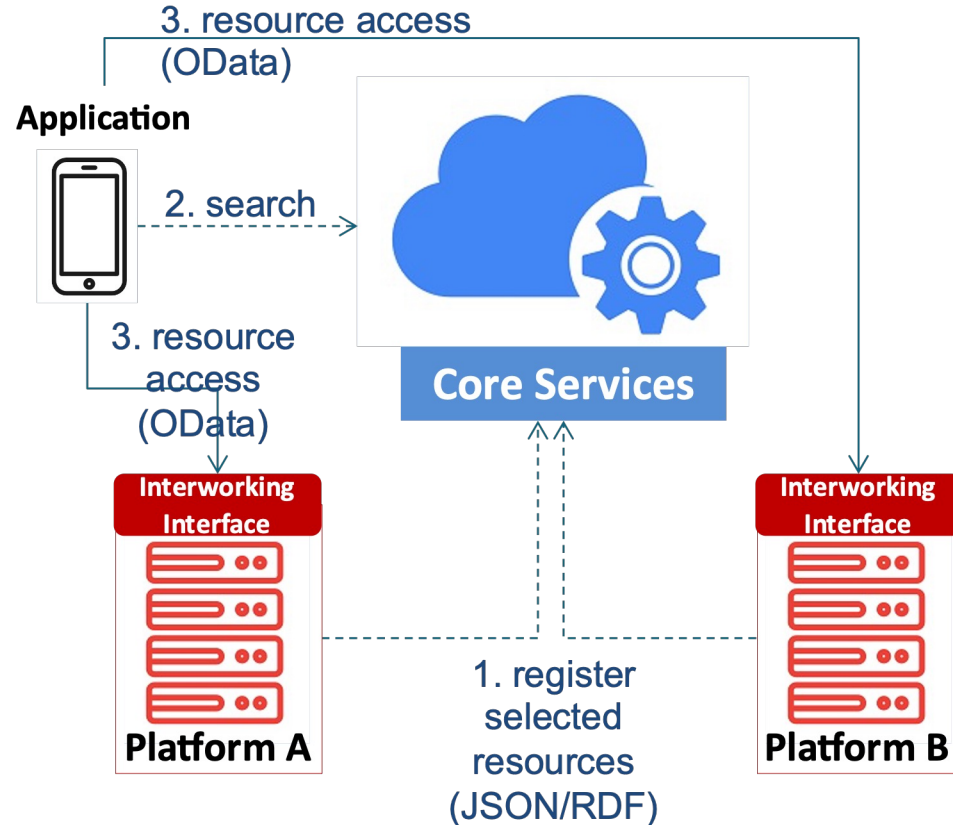
Gateway/Device Interworking

- Interoperabilnost na rubu mreže tj. u pametnom prostoru gdje postoji više platformi (npr. EdgeX i openHAB)
- Otkrivanje i dinamična konfiguracija novih uređaja koji ulaze u pametni prostor
- Kolocirani uređaji komuniciraju direktno (putem posrednika, SSP gateway), iako njima upravljaju različite lokalne platforme
- Omogućuje migraciju uređaja iz jednog prostora u drugi, a da pritom uređaj zadržava jedinstveni identifikator (tzv. *device roaming*)



G. Carrozzo et al., "Interoperation of IoT Platforms in Confined Smart Spaces: The SymbloTe Smart Space Architecture," 2018 Fifth International Conference on Internet of Things: Systems, Management and Security, Valencia, 2018, pp. 38-45.

Semantička interoperabilnost



Centralizirano pretraživanje

Decentralizirani pristup resursima; upravljanje i dozvole pristupu ostaju na strani platforme

Core Services

Core Information Model (CIM) with Extensions

- supports symbloTs's CIM defining the core concepts (Sensors, Actuator, Services, and Location), re-uses concepts defined by the Semantic Sensor Network (SSN) ontology, Sensor-Observation-Sample-Actuator (SOSA) ontology, Actuation-Actuator-Effect ontology pattern and the SensorThings API
- predefined Best Practice Information Model (BIM)
- validates Platform-specific Info Models (PIM) extending CIM

Platform Cloud

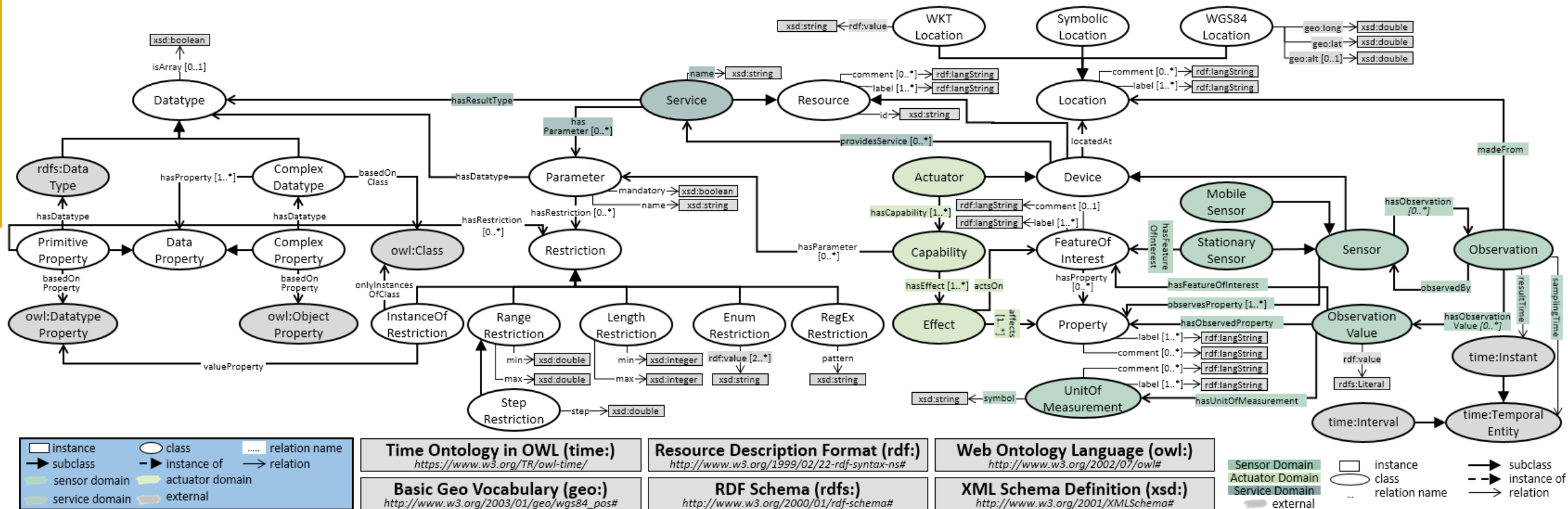
symbloTe's Interoperability Components

- RESTful OData-like interface for secure access to platform resources
- use JSON if BIM is sufficient for resource description
- otherwise define PIM using RDF

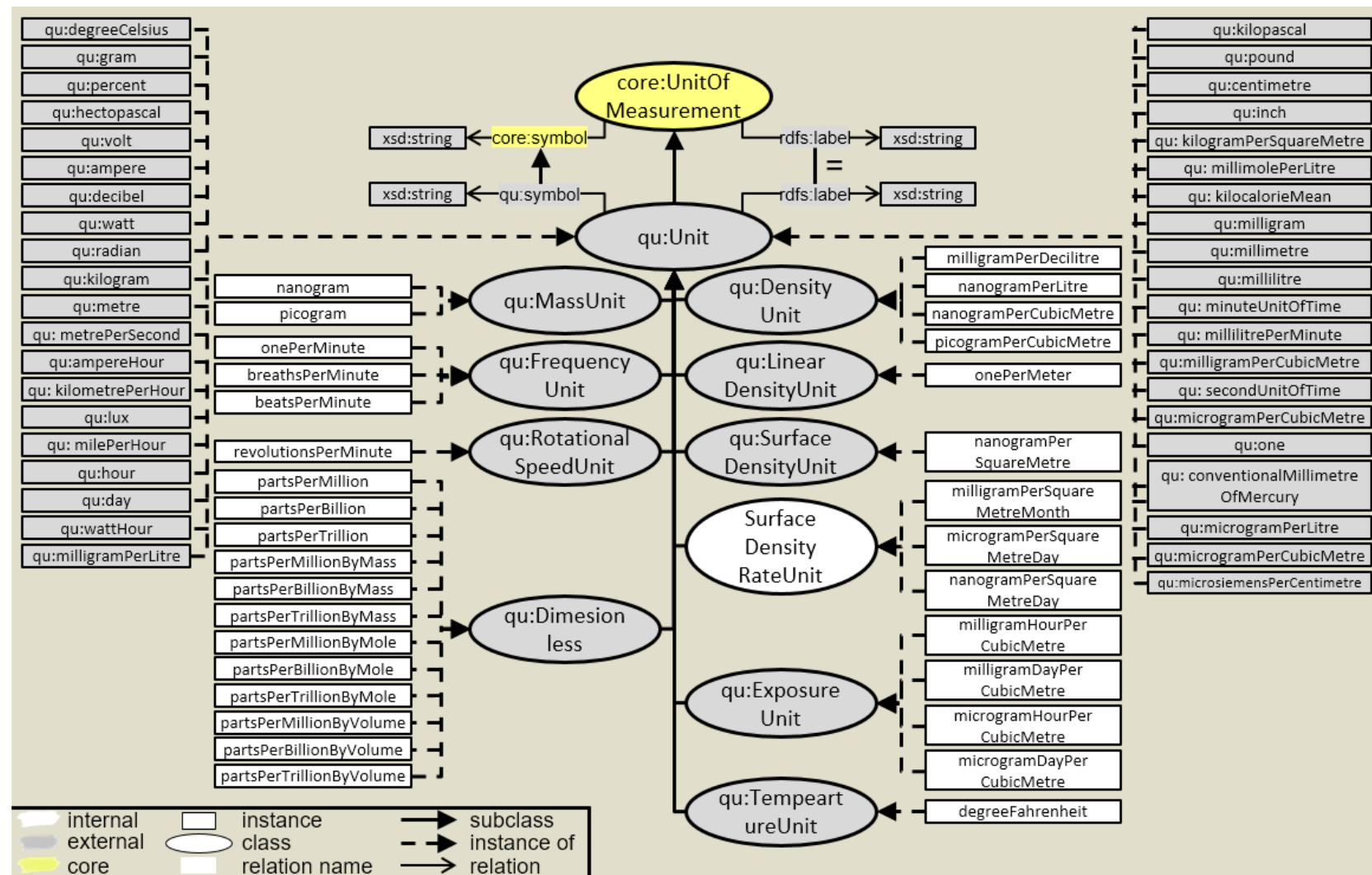
Core Information Model

- Principi dizajna
 - što apstraktnije moguće (da ne isključimo druge platforme)
 - što eksplicitnije za potrebe (da bi se omogućile sve mogućnosti symbloTe-a)
- 3 glavne domene
 - senzoriranje (temelji se na SSN-u, SensorThingsAPI)
 - akcija (temelji se na Actuation-Actuator-Effect, SOSA)
 - usluge (motivirano programskim sustavima – poziv procedure)
- Iskorištavanje postojećih tehnologija:
 - RDF/S, OWL
 - W3C Basic Geo Ontology
 - W3C Time Ontology

Core Information Model

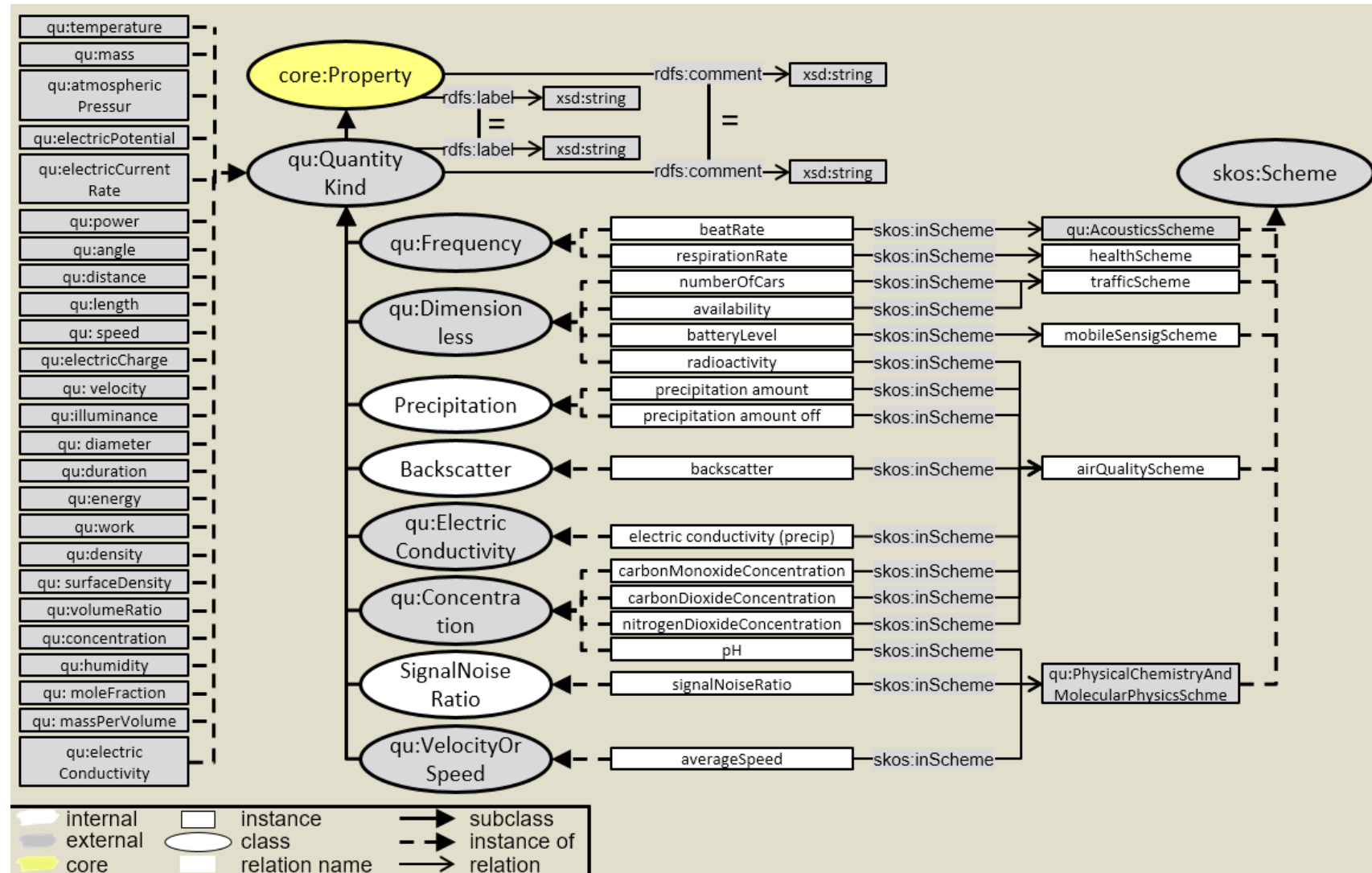


Best Practice Information Model – jedinice



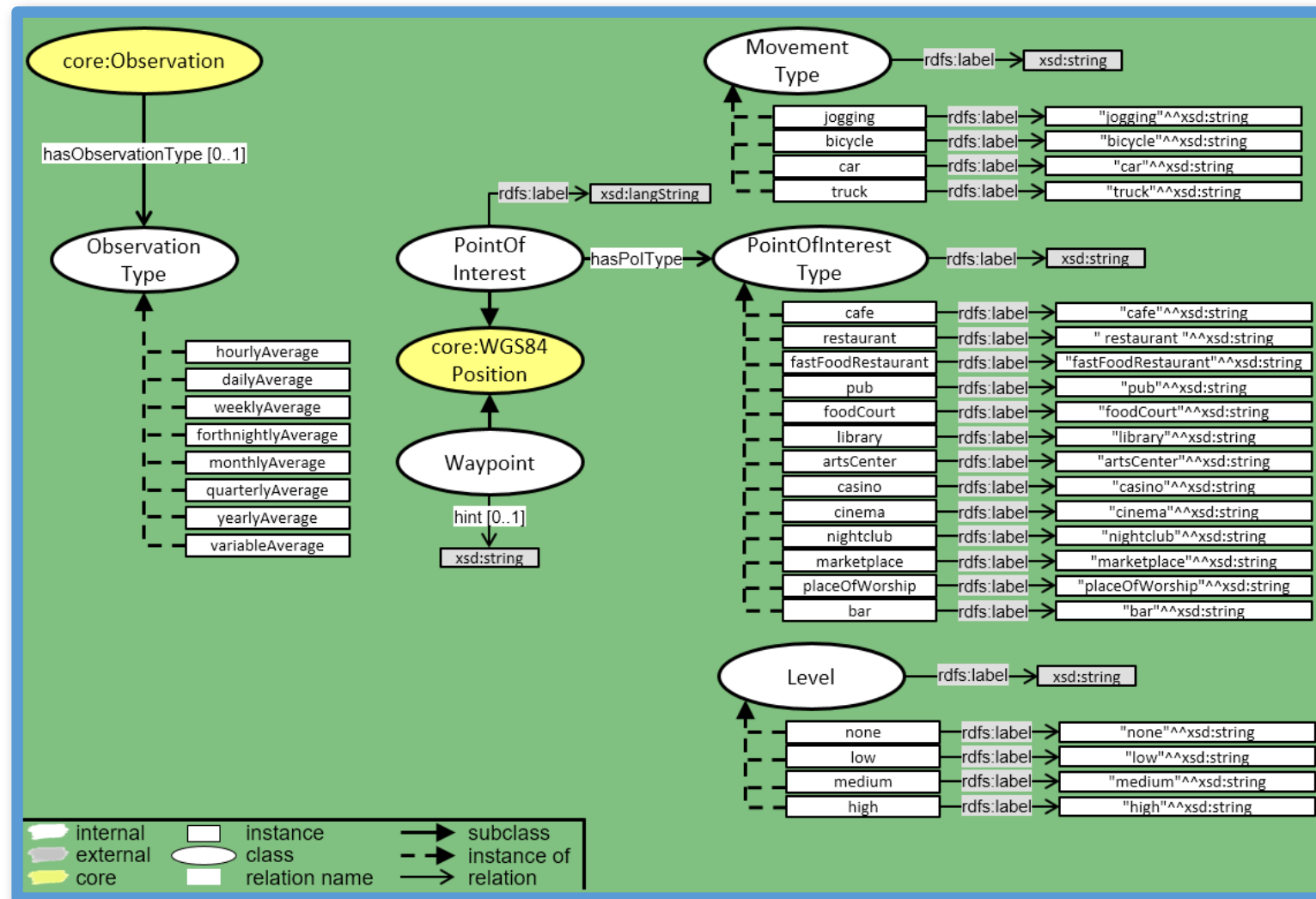
<https://github.com/symbiote-h2020/Ontologies/blob/master/v2.3.0/bim-qu-align-v2.3.0.ttl>

Best Practice Information Model – svojstva



https://github.com/symbiote-h2020/SymbioteCloud/blob/master/resources/docs/property_uris

Studijski slučajevi – Smart Mobility & Urban Ecological Routing



Studijski slučajeji – Smart Residence

